Journal of Water and Soil
Homepage: https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 6, Feb.-Mar., 2024, p. 907-922

Impact of Foliar Application of Iron and Zinc Sulfate on Forage Yield and Iron and Zinc Concentration in Corn Fodder (*Zea mays* L.)

K. Asadi[1], M. Barani Motlagh[2*], S.A. Movahedi Naein[2], T. Nazari[3]

1, 2 and 3- M.Sc Graduated, Associate Professor and Ph.D. Student, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: mbarani@gau.ac.ir)

Received: 07-08-2023 Revised: 01-11-2023 Accepted: 12-11-2023 Available Online: 12-11-2023	**How to cite this article:** Asadi, K., Barani Motlagh, M., Movahedi Naeini, S.A., & Nazari, T. (2024). Effect of foliar application of iron and zinc sulfate on forage yield and iron and zinc concentration in forage corn (*Zea mays* L.). *Journal of Water and Soil, 37*(6), 907-922. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2023.83811.1320

Introduction

Forage corn stands as a strategic and vital crop in Iran, assuming a significant role in fulfilling protein demands, particularly for red meat production. Iron and zinc micronutrients play pivotal roles in promoting plant growth and enhancing yield. Corn, in particular, exhibits a moderate need for iron and a high requirement for zinc. The calcareous composition prevalent in agricultural soils across most regions of Iran stands out as a significant factor diminishing the absorption efficiency of iron and zinc from the soil solution, consequently hampering agricultural plant yields. Moreover, in Iran, soil acidity coupled with high bicarbonate levels, sporadic land cultivation practices, overreliance on chemical fertilizers like nitrogen and phosphorus, and the limited use of fertilizers containing essential micronutrients collectively contribute to soil deficiencies in micronutrients, leading to corresponding deficits in crop yields. In various plants, insufficient absorption of micronutrient elements, especially iron and zinc, causes a decrease in the quantity and quality of the product. The present study aims to assess the influence of foliar application of iron and zinc sulfate on forage yield, iron and zinc concentration in forage corn (*Zea mays* L.).

Methods and Materials

This experiment was carried out in a field near the village of Takhshi Mahalle, located 5 km northwest of Gorgan city with geographical coordinates (54° 17′ 56 ″ N) (52° 51′ 36 ″ E) in 2022. The physical and chemical properties of the soil were measured at a depth of 0-30 cm in different parts of the farm and the final composite soil was analyzed in the laboratory. Water was measured using conventional methods of sampling and testing water and wastewater. The experiment was conducted as a randomized complete block design with 3 replications. The treatments included control (with distilled water), foliar spraying of iron sulfate micronutrient elements [$FeSO_4.7H_2O$ (20%Fe)], zinc sulfate [$ZnSO_4.7H_2O$ (22% Zn)], and iron sulfate + zinc sulfate at a concentration of 5 per thousand at the 4-leaf stage, the 8-leaf stage and both stages (4-leaf and 8-leaf). Foliar spraying was done in the early morning and drip irrigation was used. Plants were harvested 120 days after planting, washed with distilled water and dried with tissue paper. The samples were air-dried and then oven dried at 70˚C to a constant weight in a forced air-driven oven. Iron and zinc concentrations were determined by an atomic absorption device. In order to determine the protein percentage and yield in different treatments, total nitrogen was measured by the Kjeldahl method. The protein percentage and yield were calculated using the following formula:

$$\text{Protien percentage} = \text{Nitrogen percentage} * 6.25$$
$$\text{Protien yield} = \text{Nitrogen percentage} * \text{Dry forage}$$

https://doi.org/10.22067/jsw.2023.83811.1320

Statistical data were analysed using SAS software (9.4) and the mean values were compared using LSD tests (at 5% level).

Results and Discussion

The obtained results showed that all treatments effects were significant ($P<0.01$) (fresh forage $P<0.05$). Among all the treatments and measured traits, the control treatment showed the lowest value. The highest iron concentration with an average of 175.14 mg kg^{-1} was obtained using iron foliar spraying in both 8 and 4 leaf stages, which increased 22.73 and 34.39% in comparison with only using iron foliar application in 4 and 8 leaf stages, respectively. Zinc foliar spraying at both the 4 and 8 leaf stages resulted in the highest zinc concentration of 71.02 mg kg^{-1} in forage corn, increasing zinc concentration by 89.86% over the control. In both 4 and 8 leaf stages, an iron and zinc foliar application had the highest chlorophyll index with an average of 57.63. The highest nitrogen content, averaging 2.80%, was observed following foliar spraying of iron and zinc during both the 4 and 8 leaf stages. This represents an increase of 5% and 23.92% compared to iron and zinc foliar application treatments during the respective stages. Consequently, the highest yield and protein percentage were also attained, averaging 310.75 grams per square meter and 17.50%, respectively, with simultaneous foliar application of iron and zinc during both the 4 and 8 leaf stages.

Conclusion

The optimal outcomes for measured traits were observed when iron and zinc were concurrently applied at both the 4 and 8 leaf stages. Therefore, it is advisable to administer iron and zinc simultaneously during these growth stages to ensure the attainment of forage with desirable quantitative and qualitative characteristics.

Keywords: Foliar spring, Forage corn, Fe concentration, Protein percentage

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۷، شماره ۶، بهمن-اسفند ۱۴۰۲، ص. ۹۲۲-۹۰۷

اثر محلول‌پاشی سولفات آهن و روی بر عملکرد علوفه و غلظت آهن و روی در ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.)

کوثر اسدی[۱]- مجتبی بارانی مطلق[۲]*- سید علیرضا موحدی نائینی[۲]- طالب نظری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۱

چکیده

آهکی بودن خاک‌های کشاورزی از عوامل اصلی کاهش کارایی جذب عناصر کم مصرف آهن و روی از محلول خاک و کاهش عملکرد گیاهان زراعی در اکثر مناطق ایران محسوب می‌شوند. بنابراین به‌منظور ارزیابی اثر محلول‌پاشی سولفات آهن و روی بر عملکرد و کیفیت علوفه و نیز غلظت آهن در گیاه ذرت علوفه‌ای (هیبرید ۷۰۴ سینگل کراس) آزمایشی به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل شاهد (محلول‌پاشی با آب مقطر)، محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف سولفات آهن ($FeSO_4.7H_2O$ (20%Fe))، سولفات روی ($ZnSO_4.7H_2O$ (22% Zn)) و سولفات آهن + سولفات روی با غلظت ۵ در هزار در مرحله ۴ برگی، مرحله ۸ برگی و هر دو مرحله (۴ برگی و ۸ برگی) بود. محلول‌پاشی اوایل صبح و آبیاری به‌صورت قطره‌ای انجام شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بیشترین مقدار غلظت آهن اندام هوایی با میانگین ۱۷۵/۱۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم از محلول‌پاشی آهن در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی بدست آمد که نسبت به محلول‌پاشی آهن در مرحله ۸ برگی و مرحله ۴ برگی افزایشی معادل ۲۲/۷۳ و ۳۴/۳۹ درصد را نشان داد. همچنین بیشترین مقدار غلظت روی اندام هوایی با میانگین ۷۱/۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در گیاه ذرت علوفه‌ای در تیمار محلول‌پاشی روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی دیده شد که نسبت به تیمار شاهد ۸۹/۸۶ درصد غلظت روی را افزایش داد. بیشترین مقدار عملکرد و درصد پروتئین به‌ترتیب با میانگین ۳۱۰/۷۵ گرم بر متر مربع و ۱۷/۵۰ درصد از محلول‌پاشی همزمان آهن و روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی بدست آمد که نسبت به محلول‌پاشی آهن و روی در مرحله ۴ و ۸ برگی به‌ترتیب با میانگین ۱۸۹/۱۰ و ۱۷۱/۶۷ گرم بر متر مربع و ۱۲/۶۰ و ۱۰/۷۹ درصد افزایشی معادل با ۱۹/۵۰، ۳۰/۴۴، ۵/۰۲ و ۱۴ درصد داشت که نشان می‌دهد که محلول‌پاشی همزمان آهن و روی در هر دو مرحله اثر بیشتری بر صفات مورد مطالعه در مقایسه با محلول‌پاشی هر یک از عناصرآهن و روی به تنهایی دارد.

واژه‌های کلیدی: پروتئین، ذرت علوفه‌ای، غلظت آهن، محلول‌پاشی

مقدمه

زراعت گیاهان علوفه‌ای در اقتصاد ملی کشورها ارزش حیاتی دارد و باعث ایجاد تعادل بین تولیدات گیاهی و تولیدات دامی می‌شود. در کشت گیاهان علوفه‌ای، افزایش عملکرد و کیفیت علوفه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Hashempour Baltourk *et al*., 2013). گیاهان علوفه‌ای به دلیل نقش مهمی که در تغذیه دام‌ها دارند، از مهم ترین گیاهان زراعی دنیا به شمار می‌آیند. با این حال، در بیشتر کشورهای جهان، پژوهش و پیشرفت در مدیریت و تولید این گیاهان، در مقایسه با سایر گیاهان زراعی به نسبت کمتر انجام شده است (Mirlohi *et al*., 2000). در بین گیاهان علوفه‌ای، ذرت (*Zea mays* L.) یکی از مهمترین غلات دانه‌ای است که در مقیاس بزرگی برای تولید دانه و علوفه در بیش از ۱۹۰ میلیون هکتار از اراضی دنیا کشت می‌شود. و تولید آن بالغ بر ۱۴۳۸ میلیون تن است (FAO, 2019). تا سال ۲۰۵۰ تقاضا برای ذرت در کشورهای در حال توسعه دو برابر تقاضا

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، دانشیار و دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mbarani@gau.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jsw.2023.83811.1320

فعلی خواهد شد (Von Braun *et al.*, 2010). در گیاهان علوفه‌ای مشابه با سایر گیاهان زراعی، عملکرد به تنهایی تعیین کننده حد مطلوب علوفه نیست و کیفیت علوفه اهمیت بیشتری دارد (Mirlohi *et al.*, 2000). سلامت جامعه با افزایش کمیت و کیفیت علوفه و به‌دنبال آن افزایش کمیت و کیفیت فرآورده‌های دامی افزایش می‌یابد. امروزه علاوه بر عناصر غذایی پرمصرف استفاده از عناصر ریزمغذی به‌عنوان ابزاری مهم برای حصول حداکثر عملکرد در واحد سطح مورد توجه است. عناصر غذایی ریزمغذی علاوه بر افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی در سلامت انسان و دام نیز تأثیر بسزایی دارد (Khalily Mahaleh & Rashidi, 2008). در ایران، به‌دلیل بالابودن اسیدیته و درصد بی‌کربنات خاک، کشت متناوب اراضی، مصرف بی رویهٔ کودهای شیمیایی مانند نیتروژن و فسفر و عدم کاربرد کودهای دارای عناصر کم‌مصرف کمبود عناصر ریزمغذی در خاک‌ها و در نتیجه در گیاهان زراعی به‌طور گسترده‌ای مشهود است. در گیاهان مختلف، جذب ناکافی عناصر ریز مغذی به‌ویژه آهن و روی، باعث کاهش کمی و کیفی محصول می‌شود. آهن در سوخت و ساز آنزیم‌ها (به‌عنوان فعال کننده آن‌ها) و در متابولیسم پروتئین‌ها (سیتوکروم اکسیداز، لگ هموگلوبین، پروتئین‌های Fe-s، فردوکسین) و همچنین آنزیم‌های حاوی آهن مانند نیتروژناز و سوپراکسید دسیموتاز، در ساخت کلروفیل، تکامل کلروپلاست، فتوسنتز، تنفس گیاه، واکنش‌های اکسایش و کاهش و سوخت و ساز اسیدهای آلی (مانند اگزالیک، استیک، مالیک) نقش دارد (Fageria, 2010). همچنین عنصر روی نیز از عناصر کم‌مصرف بوده که در سنتز تریپتوفان، پیش ماده اکسین، طول عمر رنگدانه‌های کلروفیل و پیری برگ، متابولیسم کربوهیدرات‌ها و ساخت پروتئین‌های گیاهان اثرگذار است (Hemant Ranjan, 1996). عناصر ریزمغذی آهن و روی نقش مهمی را در رشد و عملکرد گیاهان برعهده دارند. در بین گیاهان زراعی و مقایسه آنها با یکدیگر، گیاه ذرت نیاز حد متوسط به آهن و منگنز و احتیاج زیاد به روی دارد (Pais & Jones, 1997;). از طرف دیگر مطالعات نشان داده که گیاهانی از قبیل ذرت و سورگوم توانایی تراوش فیتوسایدرفور را دارند که باعث افزایش قابلیت جذب آهن و روی توسط گیاه می‌شود ولی با وجود بهره‌گیری از چنین توانایی به‌دلیل داشتن ریشه‌های افشان و سطحی، این توانایی کم‌رنگ شده و علائم کمبود عناصر کم‌مصرف در آنها مشاهده می‌شود (Romheld & Marchner, 1998). تغذیه از طریق برگ (به‌صورت برگ‌پاشی) یکی از عملیات متداول برای رساندن مواد غذایی از طریق برگ‌پاشی گیاهان با کودهای قابل حل در آب به تمام شاخ و برگ گیاه می‌باشد. گیاهان در شرایط حضور یون‌های بی‌کربنات و قلیایی بودن خاک، تنش‌های دمایی، رطوبت بالا یا پایین خاک، بیماری‌های ریشه، عدم تعادل در مواد مغذی خاک و نمی‌تواند مواد مغذی کافی را از طریق ریشه‌ها جذب کند، در چنین وضعی، استفاده از منابع محلول‌پاشی می تواند جذب ریزمغذی‌ها را برای گیاه بالا ببرد. طبق اظهارات پژوهشگران با توجه به حل‌پذیری کم روی و آهن در محلول‌پاشی آنها روشی مؤثر برای تأمین عناصر غذایی مورد نیاز این گیاهان خواهد بود و می‌تواند تمامی نیاز گیاه را به این کودها در تمامی دوره رشد و نمو گیاه برآورده سازد (Fageria *et al.*, 2009). محققان محلول‌پاشی عناصر را برای گیاه از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه دانسته‌اند. دلایل این نظریه می‌تواند چنین باشد: عدم تثبیت کود در خاک، عدم لزوم آبیاری برای حرکت دادن کود در منطقه ریشه، صرفه‌جویی اقتصادی از لحاظ هزینه، واکنش بهتر و سریع‌تر نسبت به کود (Mortvert *et al.*, 1972). فرهانی و همکاران (Farahani *et al.*, 2015) در بررسی تأثیر محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز بر میزان عناصر و خصوصیات کیفی علوفه سورگوم گزارش کردند محلول‌پاشی آهن باعث افزایش غلظت آهن در علوفه نسبت به شاهد گردید به‌نحوی‌که بیشترین مقدار آهن با میانگین ۴۴۷/۶ قسمت در میلیون از تیمار محلول‌پاشی آهن بدست آمد. همچنین صادقی و همکاران (Sadeghi *et al.*, 2021) در بررسی اثر محلول‌پاشی آهن و روی بر عملکرد، خواص کیفی و غلظت عناصر غذایی برگ و میوه سیب گزارش کردند اثر آهن در سطح احتمال یک درصد بر میزان آهن برگ‌ها معنی‌دار بود. با افزایش غلظت آهن میزان آهن برگ نیز افزایش پیدا کرد. یوسفی و همکاران (Yousefi *et al.*, 2023) در ارزیابی کاربرد دو سطح کلات آهن (عدم محلول‌پاشی، ۰/۴ درصد) و ۴ سطح کلات روی (عدم محلول‌پاشی، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد) بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) نشان دادند در شرایط عدم محلول‌پاشی آهن عملکرد دانه با افزایش روی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد به‌طوری‌که بیشترین و کمترین مقدار عملکرد دانه با میانگین ۶۳۲ و ۳۰۹/۲۳ کیلوگرم در هکتار به ترتیب از کاربرد تیمار ۰/۴ درصد و عدم محلول‌پاشی روی بدست آمد. همچنین، مرور منابع متعدد نشان می‌دهد که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در دو مرحلهٔ شش برگی و ظهور گل تاجی بیش از محلول-پاشی در هر یک از این دو مرحله بر بهبود صفات کمی و کیفی گیاه علوفه‌ای مؤثر است (Khalili Mahalleh & Roshdi, 2008; Bagheri Dehabadi *et al.*, 2017). محققان دیگر نیز گزارش نموده‌اند که محلول‌پاشی کودها تنها در یک مرحله نمی‌تواند از کارآیی کافی در افزایش رشد گیاهان برخوردار باشد (Ehsanollah *et al.*, 2015). این نتایج نشان می‌دهد که مرحله رشد رویشی ضروری‌ترین زمان از نظر پاسخ به کودهای کم‌مصرف آهن و روی از نظر رشد بوته و بلال به شمار می‌رود، اما جهت تکمیل اثر محلول پاشی مرحله رشد رویشی، نیاز به محلول پاشی در آغاز مرحله رشد زایشی نیز است (Yousefpour & Farajzadeh Memari Tabrizi, 2018). از طرفی دیگر افزایش قابل توجه کارایی مصرف کود در روش محلول پاشی نشان می‌دهد که انتخاب صحیح روش مصرف کود با توجه به مقدار عملکرد حاصله حائز اهمیت می‌باشد (Khalili Mahalleh & Roshdi, 2008; Bagheri Dehabadi *et al.*, 2017). بنابراین

مطالعه حاضر با هدف ارزیابی اثر محلول‌پاشی سولفات آهن و سولفات روی و برهمکنش آنها در مراحل مختلف رشد بر عملکرد وکیفیت علوفه و غلظت آهن و روی در ذرت علوفه‌ای (هیبرید ۷۰۴ سینگل کراس) اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت مزرعه‌ای در نزدیکی روستای تخشی محله واقع در ۵ کیلومتری شمال غربی شهر گرگان با مختصات جغرافیایی (N″۵۶ ´۱۷ °۵۴) (E ″۵۲ ´۵۱ °۳۶) در تابستان ۱۴۰۰ اجرا گردید. برای مشخص شدن ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، پیش از اجرای آزمایش از عمق ۰–۳۰ سانتی‌متری خاک از نقاط مختلف زمین نمونه برداشت و خاک مرکب نهایی در آزمایشگاه مورد آنالیز قرار گرفت (جدول ۱). ویژگی‌های آب آبیاری از جمله واکنش آب (pH)، هدایت الکتریکی، کل مواد محلول، ذرات معلق، سختی کل، بی‌کربنات، سولفات، کلر، مقادیر کلسیم، منیزیم، سدیم و نسبت جذب سدیم (جدول ۲) با استفاده از روش‌های مرسوم نمونه‌برداری و آزمایش آب و فاضلاب اندازگیری شدند (APHA, 1992). پیش از کاشت در تاریخ ۱۴۰۰/۰۴/۱۰ زمین زراعی شخم زده شد. سپس برای تسطیح و خرد شدن کلوخه‌ها از دیسک استفاده شد. در هر کرت ۴ ردیف کشت (با فاصله ۷۵ سانتی‌متر) به‌طول ۴ متر در نظر گرفته شد. مساحت هر کرت ۱۲ متر مربع، فاصله بین بلوک‌ها از همدیگر ۱/۵ متر و فاصله بین کرت‌ها در یک بلوک، ۰/۵ متر در نظر گرفته شد. دو ردیف کناری و ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر ردیف به‌عنوان حاشیه درنظر گرفته شد. سپس بذرهای ذرت علوفه‌ای رقم هیبرید ۷۰۴ سینگل کراس که به عنوان رایج‌ترین رقم مورد استفاده‌ی کشاورزان منطقه بود با فاصله ۲۰ سانتی‌متر و در عمق ۵–۳ سانتی‌متری با ردیف‌کار کشت شدند. این پژوهش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. تیمارها شامل شاهد (محلول‌پاشی با آب مقطر)، محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف {سولفات آهن ($FeSO_4.7H_2O$ (20%Fe)، سولفات روی ($ZnSO_4.7H_2O$ (22% Zn) و سولفات آهن + سولفات روی با غلظت ۵ در هزار} در مرحله ۴ برگی، مرحله ۸ برگی و هر دو مرحله (۴ برگی و ۸ برگی) بود. بدین ترتیب ۱۰ تیمار در هر بلوک آزمایشی قرار گرفت. همچنین برای کود دهی کل زمین جهت تقویت و تأمین عناصر مورد نیاز، براساس توصیه کودی، مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل [$Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$] قبل از کشت به خاک افزوده شد. همچنین کود نیتروژن از منبع اوره (حاوی ۴۶ درصد نیتروژن) به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله دو برگی (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و شش برگی (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) از طریق سیستم آبیاری قطره‌ای به کار برده شد. محلول‌پاشی اوایل صبح انجام گرفت تا حد امکان از اثرات نامطلوب نور خورشید جلوگیری به‌عمل آید. محلول‌پاشی ترکیبی به‌صورت جداگانه انجام شد بدین گونه که یک محلول در صبح زود و دیگری در عصر انجام گردید. آبیاری به‌صورت قطره‌ای و مطابق با نیاز معمول گیاه، به‌صورت یکسان و تقریبا هر ۱۵ روز یکبار انجام گرفت. مبارزه و کنترل علف‌های هرز مزرعه به‌منظور جلوگیری از تداخل علف کش‌ها به‌صورت وجین دستی در مراحل مختلف رشد و نمو انجام گرفت. جهت تعیین زمان برداشت علوفه از محل قرار گرفتن خط شیری دانه بعنوان شاخص استفاده و برداشت زمانی انجام گرفت که خط شیری بین یک دوم و دو سوم دانه بود (Mirzavand *et al*., 2020; Bozorgmehr & Nastari Nasrabadi, 2014). در مرحله برداشت جهت بررسی صفات مورد مطالعه، از ۴ ردیف موجود در هر کرت دو ردیف کناری و همچنین ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای دو ردیف وسط بعنوان حاشیه حذف شدند و فضای باقی‌مانده جامعه آماری را تشکیل داد. به منظور بررسی صفات مورد مطالعه ۵ بوته در دو ردیف وسط به‌طور تصادفی علامت‌گذاری شد و صفات مختلف بر روی این ۵ بوته بررسی و ثبت گردید. همچنین شاخص کلروفیل برگ دقیقاً قبل از برداشت در بالاترین برگ کاملاً توسعه یافته و از هر برگ سه نقطه (ابتدا، انتها و وسط برگ) با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج (مدل ccm - 200، ساخت Opti - sciences امریکا) اندازه‌گیری و میانگین سه نقطه ثبت شد. آنگاه پس از پایان دوره رشد (به‌مدت ۱۲۰ روز) گیاهان برداشت شدند، گیاهان به‌صورت کف‌بر برداشت و ابتدا با آب شهری سپس با آب مقطر شسته و روی تورهای پلاستیکی پخش شد تا آب اضافی موجود در سطح آنها حذف شود. وزن تر علوفه (اندام هوایی + بلال) اندازگیری و سپس نمونه‌ها داخل آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت قرار گرفتند و بعد از آن وزن خشک علوفه (اندام هوایی + بلال) آن‌ها اندازه‌گیری گردید. هضم نمونه‌های گیاهی با روش خشک سوزانی انجام گرفت (Jones & Case, 1990). غلظت آهن و روی در نمونه‌ها (اندام هوایی+ بلال) با دستگاه جذب اتمی (AAS-Unicam-919) تعیین شد. جهت تعیین درصد پروتئین در تیمارهای مختلف با استفاده از روش کجلدال میزان ازت کل اندازه گیری و سپس مقدار پروتئین خام با استفاده از فرمول زیر محاسبه خواهد گردید: (Dianati *et al*., 2015; Keshavarz *et al*., 2013).

درصد پروتئین خام = درصد ازت × ضریب پروتئینی

از آنجایی‌که پروتئین‌ها حاوی ۱۶ در صد ازت می‌با شند، با ضرب در صد ازت در عدد ۶/۲۵ در صد پروتئین خام نمونه‌ها بد ست آمد. از ضـرب درصـد پروتئین خام در عملکرد ماده خشـک، عملکرد پروتئین حاصـل خواهد شـد (Dianati *et al*., 2015; Keshavarz *et al*., 2013).

عملکرد پروتئین = درصد پروتئین خام × عملکرد ماده خشک

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش قبل از کاشت

Table 1- Some physico-chemical properties of soil tested before planting

بافت خاک Soil texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	کربن آلی OC (%)	آهک $CaCO_3$ (%)	وزن مخصوص ظاهری g cm^{-3}	نیتروژن کل N (%)	آهن Fe (mg kg^{-1})	روی Zn (mg kg^{-1})	فسفر قابل جذب P (mg kg^{-1})	پتاسیم قابل جذب K (mg kg^{-1})	قابلیت هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})	پ هاش pH
Silty loam	16	58	26	1.3	11.6	1.4	0.1	7.96	1.84	12.53	554	4.01	7.7

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده

Table 2- Chemical properties of used irrigation water

پ هاش pH	هدایت الکتریکی EC (µS cm^{-1})	سولفات SO_4^{2-} (meq l^{-1})	کلر Cl (meq l^{-1})	بیکربنات HCO_3^- (meq l^{-1})	سدیم Na (meq l^{-1})	منیزیم Mg (meq l^{-1})	کلسیم Ca (meql^{-1})	کلسیم و منیزیم Ca + Mg (meq l^{-1})	ذرات معلق T.S.S (mg l^{-1})	مواد محلول کل T.D.S (mg l^{-1})	نسبت جذب سدیم SAR (%)	سختی کل Total TH (%)
7.66	3550	10.2	6.1	17	13.6	7.1	14.1	21.2	26	2272	4.18	1060

تجزیه و تحلیل آماری مقایسه بین تیمارهای مختلف با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام و و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD (در سطح احتمال ۵ درصد) استفاده شد. همچنین برای ترسیم نمودارها از برنامه Excel 2016 استفاده شد.

نتایج و بحث

خاک مورد استفاده از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری برداشت شد. با توجه به داده‌های جدول ۱ مقدار عناصر کم‌مصرف آهن و روی به‌ترتیب برابر با ۷/۹۶ (حد بحرانی ۱۰) و ۱/۸۴ (حد بحرانی ۲) میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که براساس این نتایج در حد کمبود قرار دارد (Havlin *et al.*, 2005). جدول ۲ ویژگی‌های آب آبیاری مورد استفاده را نشان می‌دهد.

شاخص کلروفیل: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن است که اثر تیمارهای محلول‌پاشی آهن و روی بر شاخص کلروفیل در سطح احتمال یک درصد ($P < ۰/۰۱$) معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های تیمارهای مورد بررسی نشان داد که بیشترین مقدار شاخص کلروفیل با میانگین ۵۷/۶۳ از محلول‌پاشی آهن و روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی بدست آمد هر چند با تیمار محلول‌پاشی روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ و آهن در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی و محلول‌پاشی آهن و روی در مرحله ۴ و مرحله ۸ برگی به‌ترتیب با میانگین ۵۷/۳۶، ۵۲/۸۰، ۵۳/۲۰ و ۵۳/۰۸ از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). کمترین مقدار شاخص کلروفیل با میانگین ۳۱/۷۶ از تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) بدست آمد (جدول ۴). در بین عناصر ریزمغذی، آهن نقش کلیدی در تشکیل کلروفیل و فتوسنتز داشته و از اهمیت زیادی در سیستم آنزیمی و تنفس گیاهان برخوردار می‌باشد. از مهمترین اثرات کمبود آهن، کاهش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی است که نتیجه‌ی آن افزایش نسبی کارتنوئیدها در مقایسه با کلروفیل بوده که در نهایت سبزینگی برگ‌ها و توان فتوسنتزی آنها را کاهش می‌دهد (Briat *et al.*, 2007). بورلینا و همکاران (Borlina *et al.*, 2001) گزارش نمودند که کاربرد عناصر کم‌مصرف از طریق افزایش سطح برگ و فراهم نمودن زمینه مناسب جهت دریافت انرژی و نیز شرکت در ساختار کلروفیل و آنزیم‌های درگیر در متابولیسم کربن فتوسنتزی، موجب افزایش بازده فتوسنتزی می‌شوند. محلول‌پاشی روی و آهن با افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو سبب افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه می‌شود (Rawashdeh & Florin, 2015). حیدریان و همکاران (Heidarian *et al.*, 2011) گزارش نمودند که آهن و روی نقش مهمی را در فتوسنتز و تخصیص مواد فتوسنتزی به بخش‌های مختلف گیاهان بر عهده دارند. مصرف عنصر روی و آهن میزان کلروفیل و فعالیت فتوسنتزی گیاه را افزایش می‌دهد و سبب توسعه پوشش گیاهی و افزایش سطح برگ و عملکرد می‌گردد. عنصر روی در افزایش غلظت کلروفیل، کاهش غلظت سدیم در بافت‌های گیاهی و افزایش جذب نیتروژن و فسفر نقش داشته و از این طریق هم باعث افزایش عملکرد می‌شود. از طرف دیگر این عنصر در ساختمان فسفواینول پیروات کربوکسیلاز نیز نقش اساسی دارد و به این ترتیب در حضور عنصر روی توان فتوسنتزی و در نتیجه میزان کربوهیدرات‌های گیاه افزایش می یابد (Baniabbass *et al.*, 2012). بورنگ و همکاران (Bourang *et al.*, 2019) در بررسی محلول‌پاشی آهن بر خصوصیات بیوشیمیایی گندم بیان کردند که محلول‌پاشی توام روی و آهن در مرحله ساقه دهی موجب افزایش میانگین صفات کلروفیل و کاروتنوئید نسبت به شرایط شاهد شد. همچنین عباسی و همکاران (Abbasi *et al.*, 2019) در تحقیقی دیگر دریافتند که محلول‌پاشی عنصر روی و آهن می‌تواند

موجب افزایش کلروفیل در گیاه گندم شود که این امر می‌تواند به علت نقش این عناصر در متابولیسم نیتروژن و سنتز پروتئین و ساخت کلروفیل باشد. نتایج این مطالعه با یافته‌های محققین فوق مطابقت دارد. بنابراین بهبود شرایط تغذیه‌ای با کاربرد محلول‌پاشی آهن و روی می‌تواند در افزایش شاخص کلروفیل در ذرت علوفه‌ای مؤثر باشد. در همین راستا ابراهیمی و همکاران (Ebrahimi *et al*., 2022) در بررسی پاسخ خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی رقم گندم آسمان به محلول‌پاشی روی و آهن در شرایط دیم گزارش کردند کاربرد توام روی و آهن در مرحله ساقه‌دهی با متوسط ۲۸/۷ واحد اسپد و مصرف آهن در مرحله ساقه‌دهی با متوسط ۲۶/۴۵ واحد اسپد به‌ترتیب بیشترین مقدار کلروفیل را نسبت به دیگر تیمارهای آزمایشی داشتند. وقار (Vaghar, 2022) در بررسی اثر تغذیه برگی آهن و روی به‌صورت نانو کلات بر غلظت آهن و روی و عملکرد دانه سویا گزارش کردند که بیشترین مقدار شاخص اسپد با میانگین ۳۰/۵۸ واحد اسپد مربوط به تیمار اثر متقابل آهن و روی بود که نسبت به تیمار شاهد با میانگین ۲۲/۰۲ واحد اسپد افزایشی معادل با ۲۷/۹۹ درصد داشت.

تغییرات غلظت آهن گیاه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن است که اثر تیمارهای محلول‌پاشی بر غلظت آهن اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد ($P<0.01$) معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های تیمارهای مورد بررسی نشان داد که بیشترین مقدار غلظت آهن اندام هوایی با میانگین ۱۷۵/۱۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم از محلول پاشی آهن در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی بدست آمد هر چند با تیمار محلول‌پاشی آهن و روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی با میانگین ۱۶۷/۷۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). همچنین محلول‌پاشی آهن در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی به‌ترتیب نسبت به محلول‌پاشی آهن در مرحله ۸ برگی و مرحله ۴ برگی افزایشی معادل ۲۲/۷۳ و ۳۴/۳۹ در غلظت آهن در اندام هوایی را نشان داد (جدول ۴). کمترین مقدار غلظت آهن اندام هوایی با میانگین ۶۴/۷۸ از تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) بدست آمد (جدول ۴). محلول‌پاشی برگی عناصر کم‌مصرف بهتر از استفاده آن‌ها به‌صورت خاکی است، زیرا باعث واکنش سریع، اثربخشی و حذف علائم کمبود عناصرکم‌مصرف می‌شود. استفاده از عناصر کم‌مصرف از طریق شاخ و برگ می‌تواند ۱۰ تا ۲۰ برابر کارآمدتر از کاربرد خاکی باشد (Zaman & Schumann, 2014). در شرایط نامناسب خاک از جمله آهکی بودن خاک‌ها، پی‌اچ قلیایی و وجود بی‌کربنات در آب آبیاری، محلول‌پاشی برگی عناصر یکی از روش‌های معمول تأمین نیاز غذایی گیاهان عالی است که کارایی بیشتری نسبت به مصرف خاکی دارد (Erdal *et al*., 2008). ایران از جمله کشورهای است که بیشتر قسمت‌های آن به‌دلیل داشتن آب و هوای خشک و نیمه‌خشک و عدم شستشوی کربنات‌ها دارای خاک‌های آهکی است. خاک‌های آهکی دارای مواد آلی و فسفر کمی بوده و pH بالای این خاک‌ها منجر به دسترسی کم گیاه به فسفر و بعضی عناصر کم‌مصرف مثل روی و آهن می‌شود (FAO, 1972). این عنصر در فرایندهای حیاتی فتوسنتز، تنفس، جذب و ساخت نیتروژن و همچنین در ساخت و تکوین کلروپلاست‌ها در گیاهان نقش دارد. نقش آهن در فرایند فتوسنتز و تنفس به‌واسطه شرکت آن در واکنش‌های اکسیداسیون و احیا در کلروپلاست‌ها و میتوکندری‌ها است که آهن در آنها به‌عنوان گروه نقل و انتقال الکترون شرکت می‌کند (Marschner, 1995).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای محلول‌پاشی بر شاخص کلروفیل و غلظت نیتروژن، آهن و روی ذرت علوفه‌ای

Table 3- Analysis of variance of the effect of foliar spray treatment on SPAD and N, Fe and Zn concentrations of forage corn

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square شاخص کلروفیل SPAD	آهن اندام هوایی Shoot Fe content	روی اندام هوایی Shoot Zn content	نیتروژن اندام هوایی Shoot N content
بلوک Block	2	0.254^{ns}	113.55^{ns}	0.23^{ns}	0.00001^{ns}
تیمار Treatment	9	181.26**	4163.21**	1051.24**	0.884**
خطا Error	18	9.15	87.23	12.17	0.006
ضریب تغییرات C.V (%)		6.15	9.33	10.90	4.33

ns، ** و * به‌ترتیب غیر معناداری و معناداری در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشد.

ns, * and ** are non-significant, significant P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

از طرف دیگر، آهن در ساخت کلروفیل‌ها نقش اساسی دارد. کاهش میزان کلروفیل‌ها در برگ‌های جوان به‌دلیل نقش آهن در ساخت آنها آشکارترین نشانه کمبود آهن است که به‌صورت زردی بین رگبرگی در برگ‌های جوان نمایان می‌گردد (Marschner, 1995). فرج زاده معماری تبریزی و همکاران (Farajzadeh Memari Tabrizi *et al.*, 2011) در بررسی اثر روش‌های مختلف مصرف کودهای کم‌مصرف بر میزان تجمع کم‌مصرف در بذر و برگ و عملکرد ذرت نشان دادند که محلول‌پاشی کود آهن بیشترین تأثیر را در افزایش آهن در بافت‌های برگی داشت که میزان آن ۱۵۷/۹۳ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت و به شدت باعث افزایش مقدار این عنصر غذایی معادل ۶۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم گردید و کمترین میزان غلظت آهن در برگ در تیمار شاهد معادل ۲۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازگیری شد. سایر روش‌های مصرف این عنصر غذایی نیز باعث افزایش مقدار این عنصر در بافت‌های برگی نسبت به شاهد گردید. لذا روش توصیه شده برای افزایش میزان این عنصر در بافت گیاهی و درنتیجه بهره‌گیری بهتر از نقش فیزیولوژیکی آن، روش محلول‌پاشی بود (Farajzadeh Memari Tabrizi *et al.*, 2011). فرهانی و همکاران (Farahani *et al.*, 2015) در بررسی تاثیر محلول پاشی آهن، روی و منگنز بر میزان عناصر و خصوصیات کیفی علوفه سورگوم گزارش کردند محلول‌پاشی آهن باعث افزایش غلظت آهن در علوفه نسبت به شاهد گردید به‌نحوی که بیشترین مقدار آهن با میانگین ۴۴۷/۶ قسمت در میلیون از تیمار محلول‌پاشی آهن بدست آمد. همچنین صادقی و همکاران (Sadeghi *et al.*, 2021) در بررسی اثر محلول‌پاشی آهن و روی بر عملکرد، خواص کیفی و غلظت عناصر غذایی برگ و میوه سیب گزارش کردند اثر آهن در سطح احتمال یک درصد بر میزان آهن برگ‌ها معنی‌دار بود. با افزایش غلظت آهن میزان آهن برگ نیز افزایش پیدا کرد. ابراهیمی و همکاران (Ebrahimi *et al.*, 2022) در بررسی محلول‌پاشی آهن و روی بر خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گندم آسمان در شرایط دیم گزارش کردند محلول‌پاشی توام روی و آهن در مرحله پر شدن دانه با میانگین ۳۳۴/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم دارای بیشترین غلظت آهن برگ بود و محلول پاشی آهن در مرحله ساقه‌دهی با میانگین ۳۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم رتبه دوم را به خود اختصاص داد. آنها همچنین نشان دادند در اثر مصرف روی و آهن به‌صورت مخلوط و به تنهایی غلظت آهن در برگ در مقایسه با تیمار شاهد افزایش می‌یابد. در همین راستا یوسفی و همکاران (Yousefi *et al.*, 2023) در ارزیابی کاربرد دو سطح کلات آهن (عدم محلول‌پاشی، ۰/۴ درصد) و ۴ سطح کلات روی (عدم محلول‌پاشی، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد) بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) نشان دادند محلول‌پاشی روی و آهن و اثرات متقابل این دو عامل بر میزان آهن اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. در شرایط عدم محلول‌پاشی آهن بیشترین مقدار آهن با میانگین ۱۱۲/۸۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم از تیمار ۰/۴ درصد محلول‌پاشی روی بدست آمد این درحالی است که در شرایط محلول پاشی آهن بیشترین مقدار آهن با میانگین ۱۳۸/۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم از تیمار ۰/۳ درصد محلول‌پاشی روی بدست آمد.

روی: با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر تیمارهای محلول‌پاشی بر غلظت روی اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد ($P<0/01$) معنی‌دار شد (جدول ۳). محلول‌پاشی روی در مرحله ۴ و ۸ برگی بیشترین مقدار غلظت روی اندام هوایی را با میانگین ۷۱/۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در گیاه ذرت علوفه‌ای را به خود نسبت داد که نسبت به تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) افزایشی معادل ۸۹/۸۶ درصد داشت (جدول ۴). تیمارهای محلول‌پاشی آهن و روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی و مرحله ۴ برگی به‌ترتیب با میانگین ۵۱ و ۴۳/۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در رده‌های بعدی قرار داشتند. به غیر از تیمارهای مذکور بقیه تیمارها نیز افزایش غلظت روی اندام هوایی را در گیاه ذرت علوفه ای نسبت به شاهد را نشان دادند (جدول ۴). روی به‌عنوان یکی از اجزای سازنده آنزیم‌ها برای سنتز پروتئین‌ها، تولید انرژی و حفظ ساختار غشای زیستی یک عنصر مهم محسوب می‌شود. روی در تغذیه گیاهان با توجه به نقشی که در سنتز هورمون‌های گیاهی و ایجاد تعادل بین فسفر و پتاسیم در داخل سلول‌های گیاهی دارد، اثرگذار است (Ganesh & Kannan, 2013). فرج زاده معماری تبریزی و همکاران (Farajzadeh Memari Tabrizi *et al.*, 2011) در بررسی اثر روش-های مختلف مصرف کودهای میکرو بر میزان تجمع عناصر میکرو در بذر و برگ و عملکرد ذرت نشان دادند که محلول‌پاشی روی بیشترین تأثیر را در افزایش روی در بافت‌های برگی داشت. بهترین نوع کود، سولفات روی بوده و بالاترین غلظت روی ۵۱ پی‌پی‌ام از طریق محلول پاشی به‌دست آمد. همچنین کمترین مقدار روی ۱۶/۸۹ پی‌پی‌ام در تیمار شاهد مشاهده شد که کاهشی معادل ۶۶/۸۸٪ را نشان داد. کاظمی و همکاران (Kazemi *et al.*, 2008 Poshtmasari) در تحقیقی بر روی لوبیا نشان دادند که محلول‌پاشی عناصر نسبت به مصرف کود در خاک بیشترین غلظت آهن، روی و منگنز در برگ‌ها موجب شد. صادقی و همکاران (Sadeghi *et al.*, 2021) در بررسی اثر محلول‌پاشی آهن و روی بر عملکرد، خواص کیفی و غلظت عناصر غذایی برگ و میوه سیب گزارش کردند روی در سطح احتمال یک درصد باعث افزایش میزان روی برگ‌ها شد.

جدول ٤- نتایج مقایسه میانگین‌های اثر تیمارهای محلول‌پاشی بر شاخص کلروفیل و غلظت نیتروژن، آهن و روی ذرت علوفه‌ای

Table 4- Mean comparison of the effect of foliar spray treatment on SPAD and N, Fe and Zn concentration of forage corn

تیمارها Treatments		شاخص کلروفیل (SPAD)	غلظت آهن در اندام هوایی Shoot Fe conc. (mg kg^{-1})	غلظت روی در اندام هوایی Shoot Zn conc. (mg kg^{-1})	غلظت نیتروژن در اندام هوایی Shoot N conc. (%)
عدم محلول‌پاشی (شاهد) Blank		31.76e	64.78f	7.20j	1.16g
مرحله ۴ برگی 4 leaf stages	محلول‌پاشی روی Zinc foliar spraying	48.56bc	72.90ef	31.67d	1.76d
	محلول‌پاشی آهن Iron foliar spraying	42.86d	114.90bd	15.18f	1.78d
	محلول‌پاشی آهن و روی Iron and zinc foliar spraying	53.20ab	139.05b	43.40c	2.01c
مرحله ۸ برگی 8 leaf stages	محلول‌پاشی روی Zinc foliar spraying	48.96bc	84.17e	26.94de	1.49e
	محلول‌پاشی آهن Iron foliar spraying	45cd	135.32d	21.01ef	1.30f
	محلول‌پاشی آهن و روی Iron and zinc foliar spraying	53.06ab	128.93ab	30.12d	1.72d
مرحله ۴ و ۸ برگی 4 and 8 leaf stages	محلول‌پاشی روی Iron foliar spraying	57.36a	113.49bd	71.02a	2.66b
	محلول‌پاشی آهن Iron foliar spraying	52.80ab	175.14a	22.39e	2.13c
	محلول‌پاشی آهن و روی Iron and zinc foliar spraying	57.63a	167.79a	51b	2.80a

ستون‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، به روش آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means followed with the same letters in each column are not significant at $p<0.05$ by LSD Test.

همچنین آنها گزارش کردند آهن و اثر متقابل آهن و روی در سطح احتمال پنج درصد به‌طور معنی‌داری افزایش محتوای روی برگ‌ها را موجب شد. بیشترین میزان روی مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر آهن و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر روی بود و کمترین میزان روی نیز در نمونه‌های شاهد دیده شد. یوسف پور و همکاران (Yousefpour *et al*., 2018) در بررسی تأثیر محلول‌پاشی آهن و روی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت دانه ذرت شیرین گزارش نمودند که بیشترین غلظت عنصر روی در دانه مربوط به تیمار کاربرد روی با غلظت ۵ در هزار بود. در این تیمار غلظت روی ۲۸/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم به دست آمد وکمترین غلظت روی نیز با ۱۴/۸ و ۱۴/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌ترتیب در تیمارهای کاربرد آهن با غلظت ۲/۵ در هزار و غلظت ۵ در هزار به‌دست آمد. این پژوهشگران همچنین گزارش کردند محلول‌پاشی در سه مرحله رشد رویشی، ظهور گل آذین نر و پر شدن دانه، غلظت روی در دانه‌های ذرت را ۴۶ درصد افزایش داد. یوسفی و همکاران (Yousefi *et al*., 2023) در ارزیابی کاربرد دو سطح کلات آهن (عدم محلول‌پاشی، ۰/۴ درصد) و ۴ سطح کلات روی (عدم محلول‌پاشی، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد) بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) نشان دادند محلول‌پاشی روی و آهن و اثرات متقابل این دو عامل بر میزان روی اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. در شرایط عدم محلول‌پاشی آهن بیشترین مقدار روی با میانگین ۹۹/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم از تیمار ۰/۴ درصد محلول‌پاشی روی بدست آمد این درحالی است که در شرایط محلول پاشی آهن بیشترین مقدار روی با میانگین ۹۳/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم از تیمار ۰/۳ درصد محلول‌پاشی روی بدست آمد. پورصفر و همکاران (Poursafar *et al*., 2022) در بررسی اثر محلول‌پاشی آهن و روی و زمان‌های برداشت بر جوانه‌زنی و برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی سویا رقم ویلیام بیان کردند اثر متقابل محلول‌پاشی آهن و روی و زمان برداشت بر مقدار آهن و روی بذر معنی‌دار بود به نحوه‌ی که بیشترین مقدار آهن بذر با میانگین ۱۲۱/۶ میل‌گرم بر کیلوگرم در کاربرد سولفات آهن و بیشترین مقدار روی با میانگین ۹۱/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم از

کاربرد سولفات روی، هر دو در زمان برداشت فیزیولوژیک بدست آمد.

نیتروژن: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن است که اثر تیمارهای محلول‌پاشی بر درصد نیتروژن اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد (P <۰/۰۱) معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های تیمارهای مورد بررسی نشان داد که بیشترین مقدار نیتروژن با میانگین ۲/۸۰ درصد از محلول‌پاشی آهن و روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی بدست آمد که نسبت به تیمار محلول‌پاشی آهن و روی در مرحله ۴ و مرحله ۸ برگی به‌ترتیب افزایشی معادل ۵ و ۲۳/۹۲ را نشان داد (جدول ۴). نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از آن است که محلول‌پاشی توام آهن و روی اثر بیشتری بر درصد نیتروژن در مقایسه با محلول‌پاشی هر یک از عناصرآهن و روی به تنهایی دارد (جدول ۴). همچنین کمترین مقدار نیتروژن با میانگین ۱/۱۶ از تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) بدست آمد (جدول ۴). روی و آهن از اجزای اصلی آنزیم‌ها در گیاهان هستند و کمبود هر یک باعث کاهش رشد گیاهان می‌شود. کمبود هر یک از عناصر غذایی، عناصر غذایی دیگر را کاهش خواهد داد (Heidarian et al., 2011). بنابراین کودها باعث رشد بهتر گیاهان می‌شود. تداخل مثبت این دو کود در سایر تحقیقات نیز به اثبات رسیده است. فیزیولوژیست‌ها بر این باورند که هر یک از کودهای آهن و روی، با افزایش رشد ریشه‌ها، می‌توانند جذب عنصر دیگر را افزایش دهند که در این شرایط بر میزان تأثیر کودها در رشد گیاهان افزوده می‌شود (Yousefpour et al., 2018). ابراهیمی و همکاران (Ebrahimi et al., 2022) در بررسی پاسخ خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی رقم گندم آسمان به محلول‌پاشی روی و آهن در شرایط دیم گزارش کردند تیمارهای محلول‌پاشی و زمان محلول‌پاشی و اثر متقابل هر دو بر درصد نیتروژن برگ و دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری شد. بیشترین درصد نیتروژن برگ در تیمار محلول‌پاشی همزمان آهن و روی در مراحل فنولوژیکی پر شدن دانه (۱/۹۵ درصد) و ساقه‌دهی (۱/۹۲ درصد) مشاهده شد. آنها همچنین گزارش کردند که کاربرد آهن و روی در افزایش میزان کلروفیل و فتوسنتز مؤثر است و انجام محلول پاشی باعث افزایش درصد نیتروژن می‌گردید.

عملکرد علوفه تر و خشک: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر محلول‌پاشی آهن و روی در سطح احتمال پنج درصد (P <۰/۰۵) بر عملکرد علوفه تر معنی‌دار شدند (جدول ۵). مقایسه میانگین‌های تیمارهای مورد بررسی نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد علوفه تر با میانگین ۶۸۹۲ گرم در متر مربع از محلول‌پاشی آهن و روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی بدست آمد هر چند با محلول پاشی آهن در مرحله ۴ و ۸ برگی، محلول‌پاشی آهن و روی در مرحله ۸ برگی و محلول‌پاشی آهن و روی در مرحله ۴ برگی اختلاف معنی-داری نداشت و کمترین مقدار وزن تر با میانگین ۴۸۷۲ گرم در متر مربع از تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) بدست آمد (جدول ۶). همچنین نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول‌پاشی آهن و روی در سطح احتمال یک درصد (P <۰/۰۱) بر عملکرد علوفه خشک معنی‌دار شدند (جدول ۵). مقایسه میانگین‌های تیمارهای مورد بررسی نشان داد که بیشترین مقدار علوفه خشک با میانگین ۱۷۷۴/۴۰ گرم در متر مربع از محلول‌پاشی آهن و روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی بدست آمد. کمترین مقدار علوفه خشک با میانگین ۱۲۱۸ گرم در متر مربع از تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) بدست آمد (جدول ۶). روی در تولید پروتئین، ساخته شدن هورمون اکسین و آنزیم‌های مسئول تولید نشاسته مؤثر است که به بهبود کیفیت دانه و افزایش لقاح کمک می‌کند اما آهن بیشتر در سنتز کلروفیل و افزایش فتوسنتز دخیل است (Ramzan et al., 2020). لیکن محلول‌پاشی آهن بیشتر به رشد رویشی و محلول‌پاشی روی به رشد زایشی کمک خواهد کرد. کاربرد همزمان این دو عنصر با یکدیگر اثر سینرژیستی داشته و منجر به رشد کلی گیاهان چه زایشی و چه رویشی می‌شود (Ziaei et al., 2020). غفاری و همکاران (Ghaffari et al., 2012) با ارزیابی واکنش برخی شاخص‌های فیزیولوژیک رشد ذرت دانه‌ای به کاربرد خاکی و محلول پاشی عناصر ریزمغذی آهن، روی و کود کامل میکرو نتیجه‌گیری کردند که محلول‌پاشی کود کامل میکرو در مرحله ساقه رفتن + مرحله ظهور بلال به‌طور معنی‌داری موجب افزایش وزن خشک کل می‌شود. در همین رابطه ناصری قندعلی و نصیری دهسرخی (Varnaseri Ghandali & Nasiri Dehsorkhi, 2017) در بررسی تغذیه برگی عناصر روی و آهن به فرم نانو بر رشد و عملکرد لوبیا چشم بلبلی گزارش کردند که محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف بر وزن خشک لوبیا چشم بلبلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همچنین آنها گزارش کردند کلیه تیمارهای محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک برگ نسبت به تیمار شاهد گردید و کمترین وزن خشک برگ با میانگین ۱۴۳/۵ گرم در متر مربع در تیمار شاهد مشاهده شد. نتایج حاصل از پژوهش آنها نشان داد کاربرد ترکیبی آهن و روی در مقایسه با کاربرد کودهای آهن و روی به تنهایی باعث افزایش وزن خشک برگ به‌ترتیب به میزان ۹ و ۱۱ درصد گردید. در همین رابطه خلفی و همکاران (Khalafi et al., 2022) در ارزیابی اثر برگ پاشی آهن و روی از منابع کلاتی و سولفاتی بر ویژگی‌های کیفی و عملکرد ذرت گزارش کردند که بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک با میانگین ۳۷/۶۱ تن در هکتار از کاربرد توام محلول‌پاشی آهن و روی بدست آمد.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای محلول‌پاشی بر عملکرد و کیفیت علوفه در ذرت علوفه‌ای

Table 5- Analysis of variance of the effect of foliar spray treatment on yield and quality of forage in forage corn

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square علوفه تر Fresh forage	علوفه خشک Dry forage	درصد پروتئین Protein percentage	عملکرد پروتئین Protein yield
بلوک Block	2	25838.40^{ns}	4817.67^{ns}	0.0005^{ns}	79.31^{ns}
تیمار treatment	9	787997.86*	72724.13**	34.55**	13002.7**
خطا Error	18	226505.07	7019.46	0.259	236.50
ضریب تغییرات C.V (%)		7.91	5.59	4.33	8.59

ns، ** و * به‌ترتیب غیر معناداری و معناداری در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشد.

ns, * and ** are non-significant, significant P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

درصد پروتئین: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن است که اثر تیمارهای محلول‌پاشی آهن و روی بر درصد پروتئین در سطح احتمال یک درصد (P <۰/۰۱) معنی‌دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین‌های تیمارهای مورد بررسی نشان داد که بیشترین درصد پروتئین اندام هوایی با میانگین ۱۷/۵۰ درصد از محلول‌پاشی آهن و روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی بدست آمد که نسبت به محلول‌پاشی روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی و محلول‌پاشی آهن در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی به‌ترتیب افزایشی معادل ۵/۰۲ و ۱۴ درصد را نشان داد (جدول ۶). نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از آن است که محلول پاشی توام آهن و روی اثر بیشتری بر درصد پروتئین در مقایسه با محلول‌پاشی هر یک از عناصر آهن و روی به‌تنهایی دارد (جدول ۶). همچنین کمترین درصد پروتئین نیز با میانگین ۶/۹۷ از تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) بدست آمد (جدول ۶). درصد پروتئین به تغذیهٔ گیاه بستگی دارد و تحت تأثیر تیمارهای کودی قرار می‌گیرد و استفاده از کودهای کم‌مصرف باعث افزایش پروتئین می‌شود (Whitty & Cham bliss, 2005). تحقیقات نشان می‌دهد مصرف برخی از عناصر ریزمغذی و از همه مهم‌تر عنصر روی باعث افزایش پروتئین خام در اندام‌های هوایی و دانه ذرت می‌شود (Ziaeian & Malakoti, 1998). درهمین رابطه نبوی مقدم و همکاران (Nabavi Moghadam, 2013) در بررسی تأثیر کاربرد مقادیر مختلف آهن و منگنز بر صفات کمی و کیفی ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی با شانزده تیمار اجرا کردند. تیمارها شامل چهار سطح کود سولفات آهن (عدم مصرف کود به‌عنوان شاهد و مصرف ۳۰، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار) بود که نتایج حاصل از پژوهش آنها نشان داد که اثر کودهای آهن بر درصد پروتئین در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. آنها همچنین گزارش کردند با افزایش کود آهن تا سطح بهینه کودی براساس آزمون خاک (سطح ۶۰ کیلوگرم) درصد پروتئین نسبت به شاهد افزایش داشته است، ولی از سطح ۶۰ کیلوگرم به بعد میزان پروتئین کاهش می‌یابد. همچنین از لحاظ آماری اختلافی بین سطوح ۳۰ و ۹۰ کیلوگرم دیده نشد. سفیان و همکاران (Safyan *et al*., 2012) در محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر رشد کمی و کیفی ذرت گزارش کردند که درصد پروتئین دانه تحت تأثیر محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. نتایج حاصل از پژوهش این محققان نشان داد که بیشترین میزان پروتئین دانه با میانگین ۱۶/۹۱درصد مربوط به محلول‌پاشی آهن و روی و کمترین مقدار آن با میانگین ۱۴/۷ درصد در تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) بدست آمد. کمانی و عیسوند (Kamaei & Eisvand, 2020) در بررسی اثر محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز بر صفات فیزیولوژیک، زراعی و پروتئین گندم تحت تنش گرمای انتهای فصل گزارش کردند که برهمکنش تاریخ کاشت و کاربرد عناصر غذایی کم-مصرف بر محتوای پروتئین دانه گندم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز موجب افزایش محتوای پروتئین دانه در هر دو تاریخ کاشت گردید که با توجه به نقش این عناصر در جذب و متابولیسم نیتروژن (مهمترین عنصر در افزایش محتوای پروتئین دانه) و بیوسنتز پروتئین‌ها از طریق تنظیم فعالیت پپتیدازها و کنترل متابولیسم آنها قابل توجیه است (Hansch & Mendel, 2009). یوسف پور و همکاران (Yousefpour *et al*., 2018) در بررسی تأثیر محلول‌پاشی آهن و روی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت دانه ذرت شیرین گزارش نمودند که تیمارهای مصرف خاکی کودها، محلول‌پاشی آهن و روی در مرحله رشد رویشی، محلول‌پاشی در دو مرحله رشد رویشی و ظهور گل آذین نر و محلول‌پاشی در سه مرحله رشد رویشی، ظهور گل آذین نر و پر

شدن دانه درصد پروتئین دانه‌های ذرت را به‌ترتیب ۱۱، ۹، ۱۸ و ۱۵ درصد افزایش داد. همچنین نریمانی و همکاران (Narimani *et al.*, 2010) طی بررسی که انجام دادند، مشاهده کردند که کاربرد آهن و روی افزایش معنی‌داری را در درصد پروتئین دانه‌های ذرت باعث می شود. این پژوهشگران مشاهده نمودند که کاربرد توام کودهای آهن و روی افزایش بیشتری را در درصد پروتئین باعث می‌گردد. در همین راستا پورصفر و همکاران (Poursafar *et al.*, 2022) در مطالعه اثر محلول‌پاشی آهن و روی و زمان‌های برداشت بر جوانه‌زنی و برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی سویا رقم ویلیام بیان کردند بیشترین درصد پروتئین بذر سویا با میانگین ۴۰/۳ درصد از تیمار سولفات آهن در زمان برداشت غلاف خشک و کمترین مقدار آن با میانگین ۲۶/۲ درصد مربوط به تیمار شاهد بود.

افزایش پروتئین دانه در اثر کاربرد آهن در سویا (Jat *et al.*, 2021) گندم (Yasmeen *et al.*, 2016) گزارش شده که مطابق با یافته‌های این پژوهش می‌باشد. در توجیه این امر می‌توان به افزایش میزان نیتروژن در گیاه اشاره نمود (جدول ۴) که آن نیز به نوبه خود تحت تأثیر آنزیم رداکتاز است (El-Habbasha *et al.*, 2015) که در اثر کمبود آهن، تعدادی از پروتئین‌ها تجزیه می‌شوند تا آهن در فتوسنتز گیاهان مورد استفاده قرار گیرد (Ceballos-Laita *et al.*, 2022) این امر نقش آهن در سنتز پروتئین محصول را نشان می‌دهد (Poursafar *et al.*, 2022).

عملکرد پروتئین: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن است که اثر تیمارهای محلول‌پاشی بر عملکرد پروتئین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین‌های تیمارهای مورد بررسی نشان دادکه بیشترین مقدار عملکرد پروتئین با میانگین ۳۱۰/۷۵ گرم در متر مربع از محلول‌پاشی آهن و روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی بدست آمد که نسبت به محلول‌پاشی روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی و محلول‌پاشی آهن در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی به‌ترتیب افزایشی معادل ۱۹/۵۰ و ۳۰/۴۴ درصد را نشان داد (جدول ۶). همچنین محلول‌پاشی آهن و روی در مرحله ۴ و مرحله ۸ برگی به‌ترتیب نسبت به عدم محلول‌پاشی افزایشی معادل ۵۵/۰۵ و ۵۰/۴۸ را نشان داد (جدول ۶). همچنین کمترین مقدار عملکرد پروتئین با میانگین ۸۵ گرم در متر مربع از تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) بدست آمد (جدول ۶).

جدول ٦- نتایج مقایسه میانگین‌های اثر تیمارهای محلول‌پاشی بر عملکرد و کیفیت علوفه در ذرت علوفه‌ای

Table 6- Comparison of the average the effect of foliar spray treatment on yield and quality forage in forage corn

تیمارها Treatments		علوفه تر Fresh forage (g m^{-2})	علوفه خشک Dry forage (g m^{-2})	درصد پروتئین اندام هوایی Plant protein content (%)	عملکرد پروتئین اندام هوایی Protein yield (g m^{-2})
عدم محلول‌پاشی (شاهد) Blank		4872c	1218e	6.79g	85h
مرحله ۴ برگی 4 leaf stages	محلول‌پاشی روی Zinc foliar spraying	5824b	1318e	11.04d	145.54efg
	محلول‌پاشی آهن Iron foliar spraying	5784b	1440d	11.17d	160.77ef
	محلول‌پاشی آهن و روی Iron and zinc foliar spraying	6156ab	1500bc	12.60c	189.10d
مرحله ۸ برگی 8 leaf stages	محلول‌پاشی روی Zinc foliar spraying	5912b	1450cd	9.31e	135.02fg
	محلول‌پاشی آهن Iron foliar spraying	6040b	1544bc	8.12f	125.75g
	محلول‌پاشی آهن و روی Iron and zinc foliar spraying	6208ab	1592bc	10.79d	171.67de
مرحله ۴ و ۸ برگی 4 and 8 leaf stages	محلول‌پاشی روی Iron foliar spraying	6068b	1505bc	16.62b	250.13b
	محلول‌پاشی آهن Iron foliar spraying	6372ab	1620b	13.30c	216.15c
	محلول‌پاشی آهن و روی Iron and zinc foliar spraying	6892a	1774.40a	17.50a	310.75a

ستون‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، به روش آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means followed with the same letters in each column are not significant at p<0.05 by LSD Test.

کمبود آهن از دیگر اختلالات تغذیه‌ای شایع در بین گیاهان عالی که در خاک‌های آهکی و قلیایی رشد می‌کنند، است (Baybordi, 2006). آهن به مقدار زیاد در کلروپلاست و میتوکندری سلول‌های گیاهی مورد نیاز است و به‌عنوان کوفاکتور در چندین پروتئین در زنجیره انتقال الکترون نقش دارد (Astolfi *et al*., 2010). کمبود آهن گرهک‌ها نقش مهمی در احیا آهن فریک دارند و جذب آهن را افزایش می‌دهند. مقدار بالای آهن در گرهک سبب فعالیت نیتروژناز می‌شود، آمونیوم تولید شده برای ساخت اسکلت کربنی و سنتز اسیدهای آمینه استفاده می‌شود که درنهایت باعث افزایش میزان پروتئین می شود (Slatni *et al*., 2011). همچنین کاکمک و همکاران (Cakmak *et al*., 2010) گزارش کردند که کمبود آهن به دلیل تأثیر مستقیم آهن بر سنتز پروتئین، مقدار کل پروتئین‌ها را کاهش می‌دهد. عنصر روی به عنوان اجزای فلزی آنزیم‌های مختلف عمل می‌کند و همچنین به‌عنوان یک کوفاکتور عملکردی، ساختاری و تنظیمی در ارتباط با متابولیسم ساکارید، فتوسنتز و ساخت پروتئین نقش دارد از اینرو عنصر روی احتمالاً عملکرد محصول را افزایش می‌دهد (Yassen *et al*., 2010). اصلاح کمبود آهن در خاک‌های آهکی از طریق محلول‌پاشی سولفات آهن یا محلول‌پاشی کلات آهن می‌تواند کارآمدتر از کاربرد خاکی کودهای حاوی آهن باشد (Fageria *et al*., 2010). در همین راستا ابراهیمی و همکاران (Ebrahimi *et al*., 2022) گزارش کردند که کاربرد آهن و روی در افزایش میزان کلروفیل و فتوسنتز مؤثر است و انجام محلول‌پاشی در زمان ساقه‌دهی که بیشترین جذب مواد غذایی در این مرحله صورت می‌گیرد باعث افزایش رشد رویشی گیاه و سبب افزایش نیتروژن برگ و دانه و در نتیجه باعث افزایش عملکرد پروتئین دانه در گیاه گندم می‌گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بیشترین مقدار غلظت آهن اندام هوایی با میانگین ۱۷۵/۱۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم از محلول پاشی آهن در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی بدست آمد که نسبت به محلول پاشی آهن در مرحله ۸ برگی و مرحله ۴ برگی افزایشی معادل ۲۲/۷۳ و ۳۴/۳۹ درصد را نشان داد. همچنین بیشترین مقدار غلظت روی اندام هوایی با میانگین ۷۱/۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در گیاه ذرت علوفه‌ای در تیمار محلول‌پاشی روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی دیده شد که نسبت به تیمار شاهد ۸۹/۸۶ درصد غلظت روی را افزایش داد. بیشترین مقدار عملکرد و درصد پروتئین به‌ترتیب با میانگین ۳۱۰/۷۵ گرم بر متر مربع و ۱۷/۵۰ درصد از محلول‌پاشی همزمان آهن و روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی بدست آمد که نسبت به محلول‌پاشی آهن و روی در مرحله ۴ و ۸ برگی به‌ترتیب با میانگین ۱۸۹/۱۰ و ۱۷۱/۶۷ گرم بر متر مربع و ۱۲/۶۰ و ۱۰/۷۹ درصد افزایشی معادل با ۱۹/۵۰، ۳۰/۴۴، ۵/۰۲ و ۱۴ درصد داشت که نشان می‌دهد که محلول‌پاشی همزمان آهن و روی در هر دو مرحله اثر بیشتری بر صفات مورد مطالعه در مقایسه با محلول‌پاشی هر یک از عناصرآهن و روی به تنهایی دارد. از این رو بـرای داشـتن علوفـه‌ای بـا خصوصیات کمی و کیفی مناسب، محلول‌پاشی همزمان آهن و روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی توصیه می‌شود.

References

1. Abbasi, N., Cherayhi, J., & Hajinia, S. (2019). Effect of iron and zinc micronutrient foliar application as nano and chemical on physiological traits and grain yield of two bread wheat cultivars. *Scientifi Journal of Crop Physiology*, *11*(43), 85-104. (In Persian)
2. APHA. (1992). *Standard methods for the Examination of water and wast water*. 18th Edition; APHA; AWWA.
3. Astolfi, S., Zuchi, S., Hubberten, H.M., Pinton, R., & Hoefgen, R. (2010). Supply of sulphur to S-deficient young barley seedlings restores their capability to cope with iron shortage. *Journal of Experimental Botany*, *61*, 799–806.
4. Bagheri Dehabadi, M., Moghadam, H., Chaichi, M.R., & Ziloee, N. (2017). The mycorrhiza and iron and zinc foliar application on quantitative and qualitative characteristics of forage sorghum. *Journal of Crops Improvement*, *19*(3), 799-815. https://doi.org/10.22059/jci.2017.60466
5. Baniabbass, Z., Zamani, G., & Sayyari, M. (2012). Effect of drought stress and zinc sulfate on the yield and some physiological characteristics of sunflower (*Helianthus. annuus* L.). *Environmental Biology*, *6*, 518-525.
6. Baybordi, A. (2006). *Zhic in soils and crop nutrition. Parivar Press*. First Edition. P 179.
7. Borlina, M.N., Bovi, O.M., & Granja, N.P. (2001). Essential oil production and quality of *Mentha arvensis* grown in nutrient solution. *Acta Horticultural*, *548*, 181-188.
8. Bourang, Sh., Jahanbakhsh Gedakahriz, S., & Ebadi, A. (2019). The effect of cadmium chloride and foliar application of iron and zinc on biochemical characteristics wheat under hydroponic conditions. *Journal of Plant Process and Function*, *8*(29), 1-13. (In Persian)
9. Bozorgmehr, J., & Nastari Nasrabadi, H. (2014). Effect of planting dates and cultivars on corn forage yield and quality. *Applied Field Crops Research*, *27*(104), 160-164. https://doi.org/10.22092/aj.2014.101830

10. Briat, J.F., Curie, C., & Gaymard, F. (2007). Iron utilization and metabolism in plants. *Current Opinion in Plant Biology*, *10*, 276-282.
11. Cakmak, I., Wolfgang, H., Feiffer., P, & McClafferty, B. (2010). Biofortification of Durum wheat with zinc and Iron. *Published by AACC International*, Inc. *87*(1), 10-20.
12. Ceballos-Laita, L., Takahashi, D., Uemura, M., Abadía, J., López-Millán, A.F., & Rodríguez-Celma, J. (2022). Effects of Fe and Mn deficiencies on the root protein profiles of tomato (*Solanum lycopersicum*) using two-dimensional electrophoresis and label-free Shotgun analyses. *International Journal of Molecular Sciences, 23*(7), 3719. https://doi.org/10.3390/ijms23073719
13. Dianati, T.G.A., Salehi, S., & Sadati, E. (2015). Effect of salinity stress (Na_2So_4) on Forage quality of *Medicago polymorpha* and *Medicago scutelata*. *Watershed Management Research Journal*, *28*(2), 57-65. https://doi.org/10.22092/wmej.2015.107085
14. Ebrahimi Z, Biabani, A., Mohammadi, R., Sabouri, A., Rahemi, H., & Karizaki, A. (2022). Response of physiological and biochemical characteristics of Aseman wheat cultivar to foliar application Zinc and Iron micronutrient in dryland conditions. *14*(41), 53-62.
15. Ehsanullah, F., Tariq, A., Randhawa, M.A., Anjum, S.A., & Nadeem, M. (2015). Exploring the role of zinc in maize (*Zea mays* L.) through soil and foliar application. *Universal Journal of Agricultural Research*, *3*(3), 69-75. https://doi.org/10.13189/ujar.2015.030301
16. El-Habbasha, E.S., Badr, E.A., & Latef, E.A. (2015). Effect of zinc foliar application on growth characteristics and grain yield of some wheat varieties under Zn deficient sandy soil condition. *International Journal Chemtech Research*, *8*(6), 452-458.
17. Erdal, I., Kepenek, K., & Kizilgoz, I. (2004). Effect of foliar iron applications at different growth stages on iron and some nutrient concentrations in strawberry cultivars. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *28*(6), 421-427.
18. Fageria, N.K. (2010). *The use of nutrients in crop plants*, CRC Press.
19. Fageria., N.K., Barbosa, F.M.P., Moreira, A., & Guimaraes, C.M. (2009). Foliar fertilization of crop plants. *Journal of Plant Nutrition*, *32*, 1044-1064.
20. FAO, (2014). Statistical Database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO, Rome.
21. Farahani, I., Tahmasebizadeh, H., & Salehi, M. (2015). 'Effect of Fe, Zn and Mn foliar application on mineral contents and yield quality in sorghum', *New Finding in Agriculture*, *9*(4), 275-286.
22. Farajzadeh Memari Tabrizi, E., Yarnia., M., Ahmadzadehv., & Farajzadeh Memari Tabrizi, N. (2011). Effect of micronutrients application methods on concentration of elements in leaf and kernel of *Zea mays* L. cv. Jeta. *Agroecology Journal*, *6*(21), 67-74.
23. Ganesh, S., & Kannan, M. (2013). Essentiality of micronutrients in flower crops: A review. *Journal of Agriculture and Allied Sciences*, *2*(3), 52-57.
24. Ghaffari Malayeri, M., Akbari, G.A., & Mohammadzadeh, A. (2012). Response of yield and yield components of corn on soil use and foliar application of micronutrients. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *10*(2), 368-373. https://doi.org/10.22067/gsc.v10i2.16239
25. Hansch, R., & Mendel, R.R. (2009). Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion of Plant Biology*, *12*, 259-266.
26. Hashempour Baltourk, F., Majidian, M., Esfahani, M., & Rabiei, B. (2013). Effect of sowing date on yield and quality of six forage maize cultivars in Rasht Region. *Iranian Journal of Field Crop Science, 44*(4), 657-666. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2013.50335
27. Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., & Nelson, W.L. (2005). Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management (515: 97-141). Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
28. Heidarian, A.R., Kord, H.K., Mostafavi, A., Parviz Lak, & Amini Mashhadi, F. (2011). Investigating Fe and Zn foliar application on yield and its components of soybean (*Glycine max* L. Merr.) at different growth stages. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development*, *3*(9), 189.
29. Hemant Ranjan, A. (1996) Physiology and biochemical significance of zinc in plants. *Advanct of Micro Research, 4*, 151-178.
30. Jat, G., Sharma, S.K., Meena, R.H., Choudhary, R., Choudhary, R.S., & Yadav, S.K. (2021). Studies on effect of zinc application on quality and yield of soybean (*Glycine max* L.) under typic haplustepts soil. *Indian Journal of Pure & Applied Biosciences*, *9*(1), 188-193.
31. Jones Jr, J.B., & Case, V.W. (1990). *Sampling, handling and analyzing plant tissue samples*. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples., (Ed. 3). 389-427.
32. Kamaei, H., & Eisvand, H.R. (2020). Effect of iron, zinc and manganese foliar application on the physiological, agronomic traits and protein of wheat under late season heat stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *13*(1), 285-295. https://doi.org/10.22077/escs.2019.1888.1452
33. Kazemiposhtmasari, H., Bahmanyar, M.A., Pirdasht, H., & Ahmadishad. M.A. (2008) Effects of Zn rates and application forms on protein and some micronutrients accumulation in common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Asian Journal of Biological Science*, *11*, 1042-1046.

34. Keshavarz, L., Farahbakhsh, H., & Golkar, P. (2013) Effect of Hydrogel and irrigation regimes on chlorophyll content, nitrogen and some growth indices and yield of forage Millet (*Pennisetum glaucum* L.). *Journal of Crop Production and Processing*, *3*(9), 147-161.
35. Khalafi, A., Mohsenifar, K., Gholami, A., & Barzegari, M. (2022). Effect of foliar application of Iron and Zinc from chelate and sulfate sources on growth and yield of maize, at Dezful Province of Khuzestan. *Journal of Crop Ecophysiology*, *16*(61(1)), 131-146. https://doi.org/10.30495/JCEP.2022.1909162.1712
36. Khalili Mahalleh, J., & Roshdi, M. (2008). Effect of foliar application of micro nutrients on quantitative and qualitative characteristics of 704 Silage corn in Khoy. *Seed and Plant Journal*, *24*(2), 281-293. https://doi.org/10.22092/spij.2017.110804
37. Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants.* 2nd Ed. Academic Press, London, 889 p.
38. Mirlohi, A., Bozorgvar, N., & Basiri, M. (2000). The effect of different amounts of nitrogen fertilizer on growth, yield and quality of three hybrid forage sorghum silage. *Journal of Sciences and Techniques in Natural Resources*, *4*(2), 105-115. (In Persian)
39. Mirzavand, J., Chehrengar, M., & Zare, M. (2020). Effect of saline irrigation water and application methods of iron and zinc on yield and quality of corn silage in a calcareous soil. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *13*(3), 953-967. https://doi.org/10.22077/escs.2020.2250.1573
40. Mortvert, J., Chairman, J., Giordano, P.M., & Lindsay, W.L. (1972). Micronutrient in agriculture. *Soil Science Society of America Journal*, 666.
41. Nabavi Moghadam, R., Saberi, M.H., & Sayyari, M.H. (2013) Effect of soil application of Iron and Manganese Sulfate on quantitative and qualitative characteristics of dorage maize hybrid single cross 704. *Journal of Crop Improvment*, *15*(2), 75-86.
42. Narimani, H., Mehdi Rahimi, M., Ahmadikhah, A., & Vaezi, B. (2010). Study on the effects of foliar spray of micronutrient on yield and yield components of durum wheat. *Archives of Applied Science Research*, *2*(6), 168-176.
43. Pais, I., & Jones Jr., J.B. (1997). *The handbook of the tract element*. Published by St . Luice Press.
44. Poursafar, A., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R., & Hasanzadeh, M. (2022). Effect of iron and zinc spraying and harvesting times on germination and some biochemical characteristics of soybean cultivar Williams 82. *Journal of Plant Ecophysiology*, *13*(47), 76-87.
45. Ramzan, Y., Hafeez, M.B., Khan, S., Nadeem, M., Batool, S., & Ahmad, J. (2020). Biofortification with zinc and iron improves the grain quality and yield of wheat crop. *International Journal of Plant Production*, *49*, 1-10.
46. Rawashdeh, H.M., & Florin, S. (2015). Foliar application with iron as a vital factor of wheat crop growth, yield quantity and quality: A Review. *International Journal of Agricultural Policy and Research*, *3*(9), 368 -376.
47. Romheld, V., & Marchner, H. (1998). Mobilization of iron in the Philosophers of different plant species in advances in plant nutrition. www.springlink.com.
48. Sadeghi, E., Babalar, M., & Talaie, A. (2021). 'Effect of foliar application of iron and zinc on yield, quality and leaf and fruit nutrients concentrations of apple (*Malus domestica* cv. Gala)', *Iranian Journal of Horticultural Science*, *51*(4), 965-978. https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.228844.1204
49. Safyan, N., Reza Naderi darbaghshahi, M., & Bahari., B. (2012). The effect of microelements spraying on growth, qualitative and quantitative grain corn in Iran. International Research *Journal of Applied and Basic Sciences*, *3*, 2780-2784.
50. Slatni, T., Vigani, G., Salah, I.B., Kouas, S., Dell'Orto, M., Gouia, H., & Abdelly, C. (2011). Metabolic changes of iron uptake in N2-fixing common bean nodules during iron deficiency. *Plant Science*, *181*(2), 151-158.
51. Vaghar, M.S. (2022). The effect of foliar feeding of iron, zinc and manganese nanochelates on chlorophyll fluorescence, iron, zinc and manganese concentration in seeds and soybean yield. *Applied Biology*, *12*(46), 105-126.
52. Varnaseri Ghandali, V., & Nasiri Dehsorkhi, A. (2017). Investigation of foliar application of Zinc and Iron elements in nano form on growth and yield of cowpea under water deficit stress, *4*(1), 109-136.
53. Von Braun, J., Byerlee, D., Chartres, C., Lumpkin, T., Olembo, N., & Waage, J.J., (2010). *A draft strategy and results framework for the CGIAR*. World Bank, CGIAR, Washington DC, USA.
54. Whitty, E.N., & Chambliss, C.G. (2005). *Fertilization of field and forage crops*. Nevada State University Publication. 240 p.
55. Yassen, A., Abou El-Nour, E.A.A., & Shedeed, S. (2010). Response of wheat to foliar spray with urea and Micronutrients. *Journal of American Science*, *6*, 14-22.
56. Yasmeen, F., Raja, N.I., Razzaq, A., & Komatsu, S. (2016). Gel-free/label-free proteomic analysis of wheat shoot in stress tolerant varieties under iron nanoparticles exposure. Biochim. Biophys. *Acta Proteins Proteom*, 1864, 1586-1598.
57. Yousefi, Z., Sharifi, P., & Rabiee, M. (2023). Effect of foliar application of Zinc and Iron on seed yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Agricultural Science*, *45*(1), 154-162.
58. Yousefpour, A., & Farajzadeh Memari Tabrizi, E. (2018). Evaluation of micronutrient application at different growth stages on yield and yield components and grain quality of sweet corn. *Journal of Crop Ecophysiology*, *12*(46(2)), 287-302.

59. Zaman, Q., & Schumann, A.W. (2006). Nutrient management zones for citrus based on variation in soil properties and tree performance. *Precision Agriculture*, *7*, 45-63.
60. Ziaei, S.M.M., Salimi, K., & Amiri, S.R. (2020). Investigation of quinoa cultivation (*Chenopodium quinoa* Willd.) under different irrigation intervals and foliar application in saravan region. *Crop Physiology Journal*, *12*, 113-125. (In Persian)
61. Ziaeian, A.H., & Malakoti, M.J. (1998). *Investigating effect of fertilizer with micronutrient and their time of application*. 1 st national congress of fertilizer and pesticides, Karaj, Iran, March 19.